

le Verdon, le Var, ayant toutes à certains moments des allures plus ou moins torrentielles ; pour la région des Pyrénées, le Tech, la Têt, l'Agly, l'Aude, la Garonne, la Neste, l'Adour. — Les quantités de limons charriées par ces divers cours d'eau sont extrêmement variables.

En général, les eaux des Pyrénées sont beaucoup moins limoneuses que celles des Alpes.

Ainsi, la Garonne ne porte que 5 gr. à 50 gr. de limon par mètre cube. Au moment des crues exceptionnelles, elle en porte 1 kgs 500. Son débit dépassant alors 400 m³ par seconde, c'est encore 52 000 tonnes de limon charriées par vingt-quatre heures.

La Neste a une allure plus torrentielle, elle charrie 13 kgs à 16 kgs de matériaux par mètre cube. Mais en temps normal ses eaux sont claires.

Les eaux de l'Adour sont toujours claires, la proportion de limon ne dépasse jamais 50 gr. par mètre cube.

L'Agly est la seule de ces rivières qui s'alimente dans un massif calcaire, celui des Corbières. Ses eaux sont ordinairement limpides. Ce n'est que par de fortes crues qu'elles charrient jusqu'à 38 kgs de limon par mètre cube.

Les eaux des Alpes sont incomparablement plus chargées de limons. La plus limoneuse des rivières alpines est l'Isère. Dans son cours supérieur, alimenté surtout par des glaciers, ses eaux sont assez claires et la proportion des limons atteint à peine 2 kgs par mètre cube. Dans son cours moyen, il n'en est plus de même ; elle a reçu certains affluents tels que le Glandon, qui, au moment des crues, sont de véritables torrents de boue, charriant 150 kgs à 260 kgs de limon. Aussi les eaux de l'Isère tiennent-elles quelquefois en suspension 123 kgs de limon par mètre cube. Le débit de l'eau étant alors de 380 m³ par seconde, la quantité de limon charriée en 24 heures a atteint 4 000 000 de tonnes. Les eaux de la Durance sont également très limoneuses, sans toutefois atteindre les mêmes teneurs. Ainsi, à Mirabeau, le maximum que nous ayons observé n'a été que de 11 kgs 435 par mètre cube, au début d'une forte crue. Le débit étant alors de 375 m³ à la seconde, la proportion de limon charriée en 24 heures atteignait 370 000 tonnes (1).

Ces quelques chiffres suffisent pour montrer combien sont élevées les teneurs en matériaux solides charriés par les cours d'eau des Alpes et pour mettre en garde contre le danger que présenterait la construction de barrages réservoirs, qui s'ensablent rapidement et cesseraient alors de fonctionner.

Les eaux ne sont pas limoneuses à des époques quelconques de l'année. Les grandes rivières des Alpes, comme l'Arve, l'Isère, la Durance, dont le bassin d'alimentation comprend d'importants glaciers, ont un régime bien régulier. La période des basses eaux se confond avec l'hiver ; les eaux sont alors claires. Au printemps surviennent des crues importantes, provoquées par la fonte des neiges. Au début de ces crues, les eaux entraînent des quantités énormes de limons, qui résultent de la désagrégation des roches pendant la période de repos qui a précédé.

Ces quantités de limons mesurent en quelque sorte le degré de friabilité des roches du bassin d'alimentation. Elles peuvent servir également de mesure à la masse des roches transformées en éléments fins dans l'intervalle de deux crues. Pendant l'été, on a une période de hautes eaux entre-

tenues surtout par la fonte des glaciers, avec des teneurs en limons notablement moins élevées que pendant les crues de printemps.

Les matières dissoutes, et en particulier la chaux, subissent en même temps des variations régulières fort curieuses. Dans les rivières des Alpes, leur proportion, élevée pendant la période des basses eaux de l'hiver, diminue à partir des crues de printemps et se maintient basse pendant l'été, pour se relever en automne.

Ainsi l'Isère, à Moûtiers, contient 208 gr. de chaux par mètre cube en janvier et 75 gr. seulement en juillet ; la Durance, à Embrun, contient 138 gr. de chaux en janvier et seulement 70 gr. en juillet.

Ces résultats trouvent leur explication dans le fait que les eaux provenant de la fonte des neiges et des glaciers n'apportent pas de principes dissous et viennent diluer celles qui s'égouttent des terres et qui contribuent en toute saison à alimenter le bassin.

Les rivières des Pyrénées, où les glaciers sont absents ou peu importants, ont un régime différent. Les eaux sont claires en toutes saisons, sauf au moment des crues provoquées par des orages ou des pluies abondantes et qui peuvent survenir à une époque quelconque de l'année.

La proportion de matières dissoutes, principalement la chaux, est bien moins abondante dans ces eaux que dans celles des Alpes et n'est pas sujette à des variations notables.

Ce qui peut contribuer à donner aux Alpes une telle abondance de matériaux charriés par leurs rivières, c'est leur âge relativement récent. Les Pyrénées, de formation beaucoup plus ancienne, ont été délavées pendant un temps infiniment plus long.

Il ressort de l'ensemble de ces études qu'il ne faut entreprendre, sur les cours d'eau des Alpes, la construction de barrages réservoirs qu'avec beaucoup de prudence, car un envasement très rapide est à craindre. Il n'en est pas de même dans les rivières des Pyrénées.

TRANSMISSION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Transmission de l'énergie électrique par courant continu, système série

Nous avons plusieurs fois déjà entretenu nos lecteurs du problème de la transmission et de la distribution de l'énergie par courant continu, *système série*. Dans le numéro de mai 1902, M. H. RICOLLON, professeur à l'Université, directeur de l'École Centrale lyonnaise, a fait un exposé clair et précis de ce problème. Et plus tard, dans le numéro d'octobre 1908, M. A. REX, ingénieur-électricien, a décrit le transport d'énergie de Moûtiers à Lyon par courant continu à 50 000 volts. Il nous paraît intéressant de revenir encore sur les applications de ce système en montrant l'une des plus importantes et des plus récentes.

Ce système, d'après J.-S. HIGHFIELD (1), présente dans certains cas, sur le système à courant alternatif, des avantages très marqués. A la suite de l'installation Lyon-Moûtiers, il a été adopté, après une étude très sérieuse, par la « Metropolitan Electric Supply Company » qui s'en est servi pour alimenter l'aire ouest de son réseau.

Nous avons résumé dans les lignes qui vont suivre les points les plus intéressants de cette installation. N'ayant pu

(1) A d'autres points de vue, Hervé MANGAO, avait trouvé des résultats analogues dans ses travaux classiques sur « *Les Limons de la Durance* ».

(1) Communication présentée à l'Institution of Electrical Engineers, à Glasgow, le 12 juin 1912 (d'après *La Revue Électrique*).

en avoir des vues photographiques, nous donnons ci-inclus des phototypies de machines du même type d'après les originaux qu'a bien voulu nous communiquer la « Compagnie de l'Industrie Electrique et Mécanique de Genève ».

En raison de la faible charge existant dans une grande partie de la région à desservir, le point important consistait à établir un système entraînant la plus faible dépense en conducteurs, et, en même temps, se prêtant à des extensions immédiates et peu coûteuses en vue de répondre aux demandes résultant d'un accroissement rapide de la population. Il était également nécessaire d'adopter un système qui, tout en étant peu onéreux dans le cas de courtes distances, pût être promptement étendu aux longues distances. Un autre point à ne pas perdre de vue était que, dans quelque avenir prochain, il pouvait devenir opportun de pousser la distribution à des distances encore plus grandes.

Il fut décidé de poser des canalisations d'une capacité de 10 000 kilowatts, avec réserve suffisante dans le cas d'un dérangement sur la ligne ; après une étude approfondie, on adopta, comme étant plus économique que tout autre système, l'emploi de deux câbles à conducteur unique de 0,125 pouce carré de section (80,6 mm²), avec isolement au papier de 0,5 pouce d'épaisseur (12,6 mm.) suffisant pour 100 000 volts en courant continu, chaque câble étant placé dans un tuyau en fonte. Pour assurer la continuité de distribution dans le cas d'un accident sur l'un des conducteurs on décida, après recherches de tous risques et avec autorisation du Board of Trade, d'employer la terre comme conducteur de secours. La dépense qu'aurait nécessitée un troisième câble fut ainsi évitée.

Pour la distribution secondaire, les canalisations sont de capacité beaucoup moindre et peuvent être dérivées à intervalles rapprochés pour l'alimentation de petites sous-stations destinées à l'éclairage des villes ou villages, et pour les gros consommateurs de force. Pour cela une tension assez élevée était nécessaire, et l'on décida d'employer des lignes triphasées à 3 000 volts, le système à basse tension desservant les petits consommateurs étant du système triphasé à quatre fils, avec tension de 415 volts entre phases. Un pareil réseau se montre supérieur à tout autre système au point de vue du prix de revient aussi bien qu'au point de vue du service d'exploitation. La tension secondaire relativement élevée permet à chaque sous-station de desservir une aire d'environ 26 km². Ainsi, en dépit de la nature éparse de la demande, chaque sous-station peut prendre des dimensions considérables, ce qui permet de centraliser le plus possible les installations.

CABLES DE TRANSMISSION. — Le système de câbles conducteurs consiste, comme il a été dit, en deux câbles sous plomb avec isolement au papier, posés dans les conduites en fonte de 65 mm. de diamètre intérieur ; les joints des conduites faits en fils retors et argile sont électriquement assurés au moyen de trois coins en fer strié qui mordent dans le fer du tuyau. Ces coins assurent un joint excellent, et sont très bon marché. Des boîtes spéciales en fonte, démontables, sont employées pour maintenir chaque joint ; de petites boîtes sont également employées dans les coudes. Il n'y a ni puits de visite, ni plaques de protection ; le câble est entouré sur toute sa longueur par le tuyau de fonte et se trouve ainsi admirablement protégé. Le système actuel, établi sur ces principes, s'étend de l'usine génératrice jusqu'à Southall, soit une distance d'environ 11 km.

Les joints du câble lui-même sont faits à l'aide de papier suivant la méthode développée et employée depuis quelques

années par la Metropolitan Company pour les câbles concentriques à 10 000 volts et décrite par M. Highfield au cours de la discussion d'une communication de C. Vernier sur *La pose et l'entretien des câbles de transmission* (1).

Chaque longueur de câble de 200 m. a été préalablement essayée en usine sous 75 000 volts, courant alternatif, 60 périodes, la tension étant appliquée pendant 10 minutes ; un bout de 1,80 m prélevé sur chaque longueur manufacturée a été essayée à 130 000 volts, courant alternatif, 60 périodes et devait résister durant 5 minutes environ ; le type de joint employé a été soumis à 150 000 volts sans claquer. Après la pose, la longueur totale du câble fut soumise à un courant alternatif sous 20 000 volts, 60 périodes pendant 35 minutes.

TABLEAUX DE DISTRIBUTION. — L'extrémité de chaque câble est connectée à son propre panneau. Le panneau porte deux interrupteurs, l'un pour brancher le câble avec le circuit de l'usine génératrice ou des sous-stations, l'autre pour mettre le circuit de la station à la terre. Les deux interrupteurs sont articulés ensemble de façon qu'il est impossible d'ouvrir l'un avant que l'autre soit fermé. Les instruments comprennent un ampèremètre dans la ligne, un ampèremètre dans le circuit de terre et un voltmètre indiquant la tension entre la ligne et la terre ; ce dernier est muni d'un interrupteur permettant de le mettre facilement hors circuit. Les panneaux offrent une double isolation ; les divers instruments et interrupteurs sont soigneusement isolés des panneaux par de gros isolateurs en porcelaine.

D'autre part, les châssis portant les panneaux sont eux-mêmes isolés de la terre. C'est un avantage particulier au système série de pouvoir, à l'exception du câble, assurer un double isolement en tous points.

Les génératrices à courant continu sont à six pôles. Les collecteurs ont un diamètre de 150 cm, et une longueur de 17 cm : ils comprennent 1439 lames. Le courant maximum étant de 120 ampères, deux lignes de balais suffisent pour assurer une bonne commutation. Aussi, non seulement le collecteur fonctionne presque sans bruit, mais l'usure elle-même est inappréciable. Les machines sont calculées pour marcher sans étincelles à toutes charges, et permettent au courant de varier de 70 à 120 ampères. La tension normale est de 5 000 volts ; c'est la plus haute tension présentée jusqu'à ce jour par une machine de ce type. Dès lors, le débit de la machine, à 100 ampères, est de 500 kilowatts, et à 120 ampères de 600 kilowatts.

Le courant est maintenu constant par un régulateur qui sert à régler le champ en déplaçant les balais entre leurs positions de pleine charge et de marche à vide et en même temps, en shuntant une partie du courant d'excitation à l'aide d'un *diverter*. Ce régulateur est actionné au moyen d'une courroie et de poulies, par l'extrémité d'arbre de la génératrice. Il consiste en une petite turbine entièrement immergée dans l'huile. La turbine sert à maintenir une pression d'environ 1,75 kg. : cm². Dans la boîte qui la renferme se trouve un cylindre vertical à l'intérieur duquel se meut une palette montée sur un arbre vertical. Cette palette est noyée dans l'huile sous pression envoyée par la turbine, et suivant que l'huile arrive sur l'une ou l'autre face de la palette, le petit arbre vertical se met à tourner avec force dans l'un ou l'autre sens. Le mouvement de cet arbre se transmet par roues dentées à un arbre horizontal qui actionne directement le croisillon porte-balais. La distribution d'huile venant de la turbine se fait au moyen d'un petit piston-valve qui dirige l'huile sur l'une ou l'autre face de la

(1) *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, 3911, p. 330.

palette. La position de la valve est réglée par un solénoïde traversé par le courant principal. On remarquera ainsi que le régulateur est du type à relais et que toute variation du courant traversant le solénoïde a pour conséquence d'actionner avec force les organes régulateurs de champ. Le grosillon porte-balais est monté sur billes, de sorte qu'il se meut avec facilité. Des ressorts sont disposés pour empêcher les mouvements pendulaires et assurer une distribution uniforme de la charge entre les machines. Les variations de charge du réseau ne sont pas très rapides ; aussi, les régulateurs ne sont pas ajustés, pour régler à très grande vitesse ; toutefois, ils sont établis de façon à pouvoir être ajustés éventuellement pour des variations de zéro à pleine charge se produisant en moins de 1 seconde.

Les génératrices sont actionnées par l'intermédiaire de manchons d'accouplement isolant du type Zodel. Cet accouplement possède, en outre, un dispositif de glissement essentiellement constitué par un plateau à griffes. Le glissement se produit lorsque la charge sur la génératrice excède 25 pour 100.

L'auteur estime que les régulateurs décrits précédemment constituent un grand perfectionnement par rapport à ceux employés sur les premiers réseaux système Thury ; et, bien que la présente installation ne soit en service que depuis environ 18 mois, de nouveaux perfectionnements ont été déjà réalisés dans les dispositifs de régulation et de sécurité ; il est probable que, dans les groupes à installer dans l'avenir, on pourra supprimer comme inutile l'accouplement glissant.

En plus du régulateur chaque génératrice est munie d'un interrupteur de mise en court circuit et d'un mécanisme fermant cet interrupteur, c'est-à-dire court-circuitant la génératrice, dans le cas d'inversion de sens de marche. Cette inversion peut se produire dans certaines conditions ; par exemple, dans le cas de la rupture de la courroie d'accouplement de l'une des génératrices.

L'interrupteur de manœuvre destiné à mettre la génératrice en circuit, est du type rotatif à quatre points. Cet interrupteur est monté sur un pilier, qui porte également un interrupteur à contacts en charbon fonctionnant en parallèle avec l'interrupteur rotatif de façon à protéger ce dernier contre l'arc formé à l'ouverture du circuit inductif de la génératrice.

En plus de ces interrupteurs montés sur la machine, des couteaux sont placés sous le sol et ont pour but de mettre hors du circuit les interrupteurs de la machine.

Les génératrices elles-mêmes sont soigneusement isolées de la terre. Les génératrices sont boulonnées aux blocs de béton, qui reposent sur un des isolateurs en grès noyés dans de l'asphalte à haut isolement, l'espace ménagé tout autour des bâtis de machine étant rempli de bitume pur.

Dans des génératrices construites pour des tensions aussi élevées, il est important de limiter la tension qui peut s'établir entre un pôle quelconque de la machine et le châssis de façon, non seulement à réduire l'effort qui s'exerce sur l'isolant, mais aussi à limiter tout danger possible de contact accidentel avec les parties sous tension de la machine. A cet effet, une résistance de 0,8 mégohm est fixée sur le châssis de la machine, ses extrémités étant reliées aux bornes. Le point central de cette résistance est connecté au châssis, de sorte que la tension totale entre l'un des pôles et le châssis est limitée à la moitié de la tension fournie par la génératrice et un opérateur monté sur le socle de la machine et touchant l'un des pôles ne peut pas recevoir plus de courant que la grande résistance en peut laisser passer. Des dispositifs de garde sont prévus sur chaque groupe pour

empêcher que tout contact accidentel entre le bâti isolé de la génératrice et le bâti à la terre du moteur à courant alternatif puisse se produire.

Trois moteurs-générateurs sont actuellement installés à l'usine génératrice, dont deux sont munis de moteurs à courant alternatif pour démarrage par le côté alternatif, le troisième groupe étant toujours démarré à l'aide de la génératrice à courant continu.

Sous-station. — La sous-station de Southall, la seule entièrement installée à ce jour, comprend trois moteurs à courant continu actionnant trois génératrices de 250 kilowatts qui débitent du courant triphasé sous 3 000 volts, 50 périodes. La vitesse des machines est de 500 t : m. Grâce à cette vitesse relativement élevée, les machines sont, eu égard à leur débit, d'assez faibles dimensions. Les moteurs entraînent les génératrices par l'intermédiaire d'un accouplement isolant, du même type que ceux de l'usine génératrice, mais sans organe de glissement. La vitesse des groupes est maintenue constante par un régulateur de type analogue à ceux de la station ; toutefois, le piston-valve au lieu d'être contrôlé par un solénoïde, est contrôlé par la pression produite par la turbine à huile ; cette pression est contrebalancée par un ressort. La pression variant avec le carré de la vitesse, on réalise ainsi un régulateur de vitesse très sensible. Tout accroissement de la vitesse de la turbine produit un accroissement de la pression agissant sur le piston-valve qui sert à diriger la pression sur l'une ou l'autre face de la palette réglant la position des balais. Un ressort supplémentaire produit l'amortissement des mouvements pendulaires de la même façon que dans les régulateurs des génératrices.

Dans la sous-station, les organes de distribution sont analogues à ceux de l'usine génératrice ; les panneaux sont du même type ; les lignes principales se rendent aux couteaux, qui sont connectés aux interrupteurs de manœuvre placés sur les machines ; la seule différence est qu'il n'y a pas d'ampèremètre, ceux-ci n'étant pas nécessaires pour les moteurs. Les génératrices sont connectées au tableau principal de distribution duquel partent les feeders à 3 000 volts.

Les interrupteurs de mise à la terre sont connectés aux plaques de terre de la même façon que ceux de l'usine génératrice de Willesden.

Méthodes de retour par la terre. — Avant de décrire la méthode d'exploitation actuelle, l'auteur donne un court résumé des considérations qui ont amené à l'adoption finale d'un retour par la terre. Les avantages commerciaux étaient évidemment apparents de tout prime abord, mais avant de se décider à employer la terre, pour le transport régulier de courants considérables, il était nécessaire de s'assurer que cet emploi de la terre ne provoquait pas d'interférence avec les autres systèmes de distribution et n'entraînait aucun dommage pour la propriété.

Avant d'adopter la terre comme retour, on estima nécessaire de faire de nouvelles expériences ; il fut décidé que les plaques de terre seraient placées à une profondeur considérable et que les connexions rejoignant ces plaques seraient en câble isolé afin d'éviter des courants de dispersion dans le voisinage des plaques.

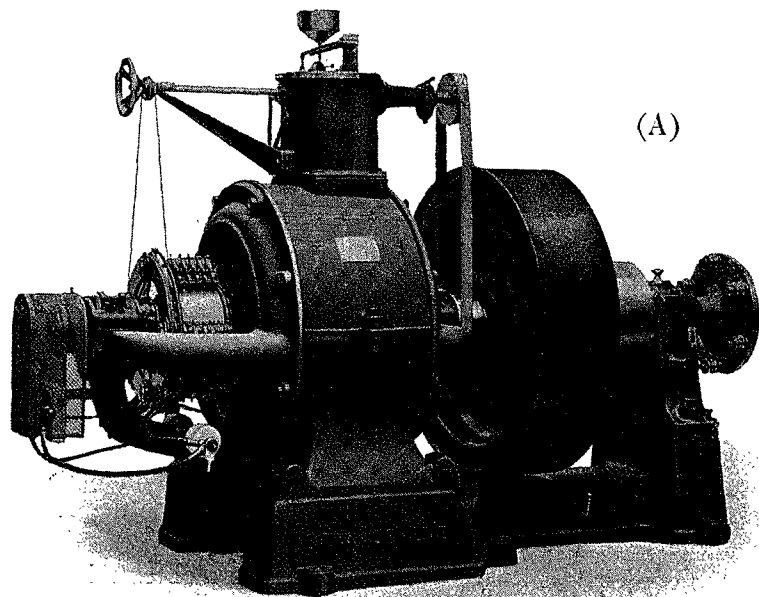
Les expériences furent conduites en vue d'obtenir les renseignements suivants :

1° Profondeur à laquelle les plaques doivent être enterrées pour que l'influence des courants de la surface du sol ou des courants avoisinant la surface soit négligeable. —

2° Dimension et nombre de plaques à employer. —
3° Distance à laquelle doivent être placées les
plaques. — 4° Valeur de la résistance de la
terre et sa constance.

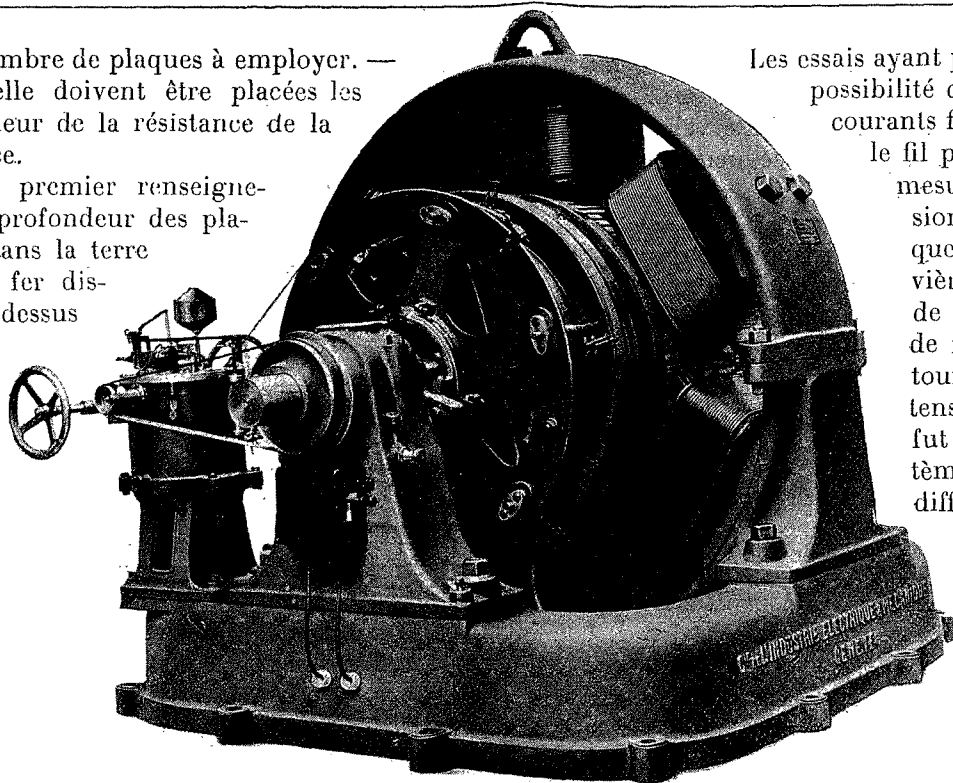
Pour obtenir le premier renseignement, relatif à la profondeur des plaques, on enfouit dans la terre quatre plaques de fer disposées les unes au-dessus des autres, sur la même verticale. Chaque plaque mesurait 120 x 60 cm. et 5 cm. d'épaisseur, sauf toutefois la plaque supérieure qui était constituée par un bout de tuyau de 15 cm. de diamètre. Ces plaques constituaient l'un des pôles du circuit, l'autre pôle étant formé par de lourdes masses de fer enfouies dans le terrain entou-

rant les usines, principalement des tuyaux à eau de condensation de grandes dimensions qui constituaient une terre excellente dont la résistance fut trouvée négligeable par rapport à celle des plaques d'essai. On fit alors passer un courant constant entre l'une des plaques et la terre de la station ; les mesures furent effectuées au moyen d'un voltmètre électrostatique Kelvin pour les hautes lectures et à l'aide d'un voltmètre à bobine mobile pour les indications plus faibles. — Ces expériences indiquèrent que la chute de tension se produisait dans le voisinage immédiat de la plaque, en fait, à la plaque elle-même, et que, lorsque le courant était amené à une profondeur de 3 m., cette chute de tension était déjà excessivement faible.



(A)

(A) MOTEUR COURANT CONTINU SYSTÈME « SÉRIE », AVEC RÉGULATEUR ET DÉCLANCHEUR AUTOMATIQUE DE VITESSE (50 HP, 275 VOLTS, 1 000 TOURS). — (B) RÉGULATEUR AUTOMATIQUE DE VITESSE, A PRESSION D'HUILE, GRAND MODÈLE.



GÉNÉRATRICE A COURANT CONTINU, SYSTÈME « SÉRIE », AVEC RÉGULATEUR AUTOMATIQUE DE VITESSE (170 Kw., 375 TOURS, 3 400 VOLTS, 50 AMP.).

Les essais ayant pour but de s'assurer de l'impossibilité d'interférence avec les autres courants furent effectués en employant le fil pilote comme fil d'essai et en mesurant les différences de tension entre Willesden et une plaque de terre placée dans la Rivière Brent à 1 600 m. environ de Southall, dans les deux cas de retour par la terre et de retour isolé. Une différence de tension variant de 0,6 à 1 volt fut observée dans le cas du système complètement isolé, cette différence étant due au réseau

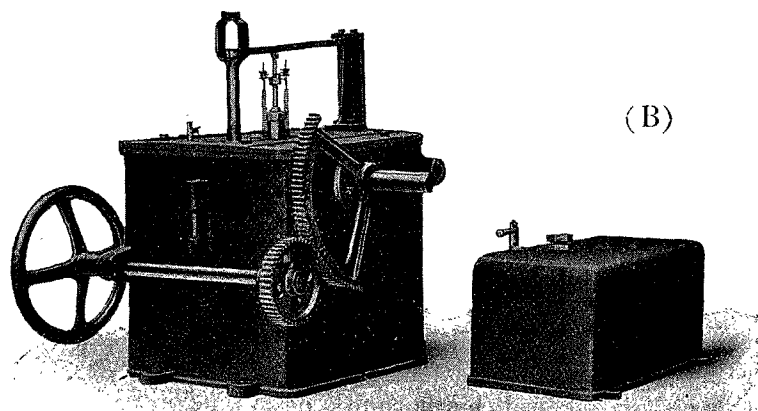
London United Tramways passant sur la route d'Uxbridge. Dans le cas d'utilisation de la terre comme retour, les lectures variaient entre 1,6 et 2 volts, élevant ainsi de 1 volt la différence de tension observée.

En employant

le fil pilote connecté en parallèle avec la terre, on observa un courant de 3 milliampères dans le cas d'absence de courant dans la terre, et un courant de 8 milliampères, avec 90 ampères par la terre, la résistance du fil pilote étant de 279 ohms ; la différence dans la tension entre la terre à Southall et à Willesden due au courant de terre, était 1,4 V.

On effectua en outre une série d'expériences avec des plaques de différentes dimensions, suspendues dans un canal. Les mesures montrèrent qu'on n'a pas grand avantage à dépasser 1 ampère par 600 pouces carrés de plaque, soit 1 ampère par 0,387 m².

D'autres essais, pratiqués avec des plaques analogues, eurent pour but de montrer la différence de conductivité suivant que les plaques étaient placées dans l'eau ou dans un terrain argileux, et de montrer également l'influence de la position relative des plaques, trois plaques étant placées l'une près de l'autre, puis les mêmes plaques étant placées à diverses distances. Les mesures montrèrent qu'il y a peu



(B)

d'avantage à placer les plaques à plus de 1,80 m. l'une de l'autre et que, placées dans l'argile, les plaques offrent une conductibilité deux fois plus grande que lorsqu'elles sont placées dans l'eau. Placées à 1,80 m. l'une de l'autre les plaques offrent une conductibilité deux fois plus grande que placées à une distance de 0,30 m.

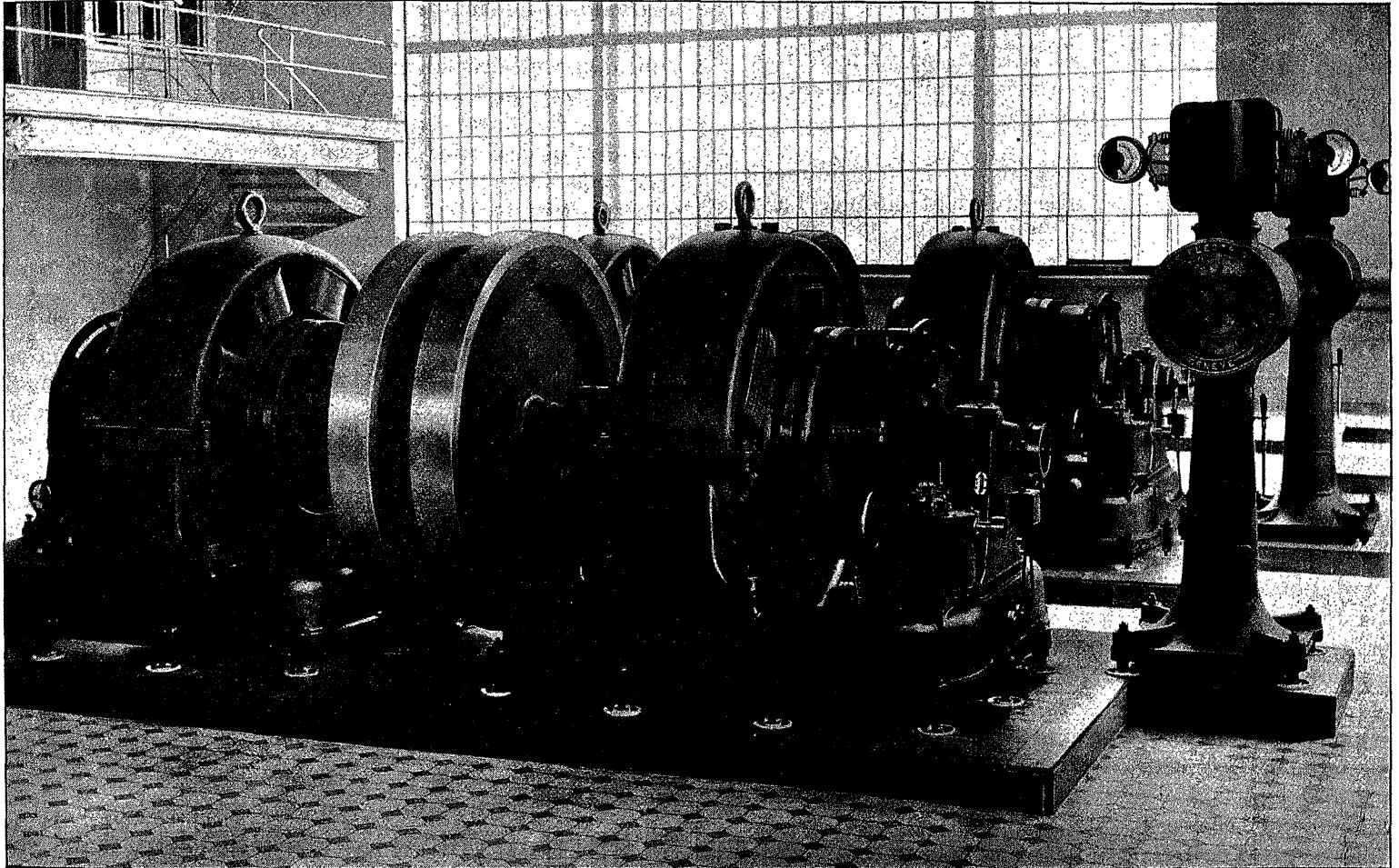
Les expériences décrites précédemment furent complétées par les travaux suivants : on établit des terres à Willesden (station génératrice), et à Southall (sous-station) en creusant dans le sol, à chaque endroit, trois trous disposés à 20 et 22^m50 de distance, chaque trou ayant un diamètre de 17,5 cm. et une profondeur approximative de 10,5 m. Le courant était de 33 ampères par plaque, pour service temporaire.

à une profondeur considérable présentent moins de résistance que des plaques placées près de la surface du sol.

L'auteur pense que ce fait est dû à la forte pression qui s'exerce sur les plaques dans le premier cas.

Lorsque la terre est mise en parallèle avec l'un ou l'autre câble, avec 90 ampères dans le circuit principal, on a observé que 30 ampères passaient dans le câble et 60 ampères dans la terre, de sorte que la résistance ordinaire des deux terres est approximativement la moitié de la résistance de l'un des deux câbles de la ligne de transport.

Pour pousser plus loin les observations, on se dispose à construire une terre en creusant un puits de 1,50 m. de diamètre et 9 m. de profondeur et disposant radialement au



GROUPES TRANSFORMATEURS COMPOSÉS DE : 1 MOTEUR-GÉNÉRATRICE, A COURANT CONTINU « SÉRIE » (1),
ET DE 1 GÉNÉRATRICE-MOTEUR A COURANT CONTINU (2).

Toutefois, on estimait que, pour un usage permanent, six plaques seraient nécessaires afin de réduire le courant de moitié. Les prises de terre consistaient en tuyaux de fonte d'un diamètre extérieur de 15,5 cm. et d'une longueur de 2,75 m. A chaque plaque était fixé un câble isolé. Après que le tuyau fût placé dans le trou, on remplit de chaux l'espace qui les entourait. A Willesden, le terrain est constitué par l'argile ordinaire de Londres ; à Southall par du fin gravier généralement très sec. Dès la mise en service permanent du système on fit des mesures soignées afin de déterminer les variations qui se produisaient dans la résistance des connexions à la terre. La résistance des deux terres est presque exactement de 1 ohm, de sorte qu'on peut considérer la mise à la terre comme très effective, bien qu'on n'ait employé que trois plaques.

D'une façon générale, les expériences effectuées préalablement permettent de conclure que des plaques enfouies

fond de ce puits six plaques de terre constituées par des tuyaux de fonte de 18 cm. de diamètre et 90 cm. de long.

La conclusion de l'auteur est que la terre peut devenir, comme conducteur, d'un grand usage commercial. Lorsqu'on l'emploie comme conducteur de réserve, elle économise le prix d'un câble servant au même objet ; le coût des connexions de mise à la terre est en effet négligeable, par rapport au coût d'un câble, et, lorsqu'il s'agit d'une très longue transmission, par exemple 150 à 200 km, l'avantage est considérable. Une ligne de 160 km., constituée par deux conducteurs de 0,125 pouces carrés (81 mm² environ), aurait une résistance totale de 68,2 ohms, de sorte qu'avec un courant de 100 ampères, le nombre de kilowatts requis pour maintenir la ligne chargée, ou perte en ligne, est de 683 kilowatts, soit près de 7 pour 100 de la capacité maxi-

(1) Moteur-génératrice de 275 HP, 300 tours, 150 amp., 1500 volts.
(2) Génératrice-Moteur de 185 kw., 320 ou 550 volts.

mun de 10 000 kilowatts sous 100 000 volts. Mais si l'on emploie les deux mêmes câbles en parallèle pour l'un des conducteurs et la terre comme deuxième conducteur, en admettant que la résistance de cette dernière soit de 1 ohm, chiffre qui peut être aisément atteint, la résistance totale sera alors de 18 ohms et la perte en ligne sera réduite à 180 kilowatts, soit 1,8 pour 100 de la capacité totale de la ligne. L'un des câbles pouvant d'ailleurs supporter à lui seul la pleine charge, on voit qu'on dispose du même coup d'un système double complet de transmission.

RENDEMENT. — Le rendement industriel actuel du système précédemment décrit est de peu de valeur, car la charge actuelle est faible, n'atteignant environ que 300 kilowatts. Pour les six derniers mois le rapport de l'énergie triphasée sortant de l'usine de Scuthall, à l'énergie absorbée en courant continu venant de Willesden a été de 77 pour 100, et durant cette période, la charge maximum en courant alternatif n'a pas excédé 275 kilowatts.

FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION. — Le fonctionnement actuel de l'installation est excessivement simple. La première génératrice est mise en vitesse à l'aide de son moteur de démarrage, soit sur circuit ouvert, soit en court circuit ; le régulateur est réglé pour donner le courant de ligne qui convient. Pour mettre une autre génératrice en circuit, on la fait généralement démarrer du côté continu, et le moteur est mis en parallèle dans le circuit.

Les moteurs des sous-stations sont démarrés en ouvrant l'interrupteur et déplaçant les balais jusqu'à ce que la pleine vitesse soit atteinte lorsque le régulateur est mis en action. La vitesse peut être réglée de façon très précise, de sorte que la mise en parallèle des sous-génératrices est une opération particulièrement aisée.

Avec plusieurs génératrices en série toutes à pleine charge, tout dérangement nécessitant la mise hors circuit d'une génératrice n'a pour conséquence que d'entraîner un fonctionnement par inertie de toute l'installation.

Lorsqu'on emploie deux conducteurs isolés, une terre en un point quelconque ne troublera pas sérieusement la distribution. Les voltmètres indiqueront aussitôt sur quel câble se trouve le défaut et ce câble pourra être mis hors circuit après mise à la terre de part et d'autre du défaut.

Lorsqu'on marche avec un câble et la terre comme retour, une terre sur le câble aura pour effet de mettre hors circuit toutes les sous-stations situées au delà du point où le dérangement s'est produit.

DIMENSION DES GÉNÉRATRICES. — La limite sûre actuelle de la tension sur un simple collecteur semble être d'environ 5 000 volts. Pour une tension maximum en ligne de 50 000 volts, il faudra donc 10 génératrices, et si ces génératrices sont commandées deux par deux, le système nécessitera cinq groupes ou unités. Le débit de chaque unité dépend du courant de ligne adopté ; une ligne de 300 ampères nécessiterait cinq unités de chacune 3 000 kilowatts.

Il ne semble pas que ces génératrices à courant continu sous haute tension puissent s'accommoder des vitesses ordinaires des turbines à vapeur ; mais, d'après l'auteur, la commande par turbine peut très bien se faire aujourd'hui par l'emploi d'un système analogue à la transmission à double hélice employée par Parsons pour la commande des appareils de propulsion à faible vitesse de la Marine. Une unité génératrice excellente consisterait, selon lui, en turbines distinctes à haute et à basse pression, actionnant cha-

cune par engrenages une ou deux génératrices à faible vitesse. Ce genre d'accouplement nécessiterait beaucoup de soin, mais ce point ne semble pas présenter de difficultés sérieuses pour la construction d'unités de très grandes dimensions.

C'est l'opinion de l'auteur que le jour viendra où les moteurs à combustion interne de grandes puissances seront employés dans les usines génératrices pour compléter la turbine à vapeur. Le système série offre alors des avantages spéciaux, grâce au fait qu'il est indépendant des variations ordinaires de la vitesse, et qu'il est à l'abri de toutes les difficultés inhérentes au fonctionnement en parallèle.

COUT DU SYSTÈME. — Le coût d'une usine génératrice à courant continu pour réseau série installée avec turbines hydrauliques, machines à vapeur à piston, moteurs à gaz ou moteurs Diesel, n'est généralement pas plus élevé que celui d'une usine analogue à courant alternatif. Dans le cas où l'on peut employer de grosses turbines à vapeur, le coût de l'usine à courant continu sera, pour le même débit, supérieur à celui de l'usine à courant alternatif.

Le coût de la sous-station et des appareils de manœuvre ou de distribution est en faveur de la station de moteurs-générateurs à courant alternatif dans les cas où la tension peut être appliquée directement aux moteurs ; mais si des transformateurs abaisseurs sont nécessaires, l'avantage reviendra généralement à la station à courant continu.

La ligne de transmission est de beaucoup moins coûteuse qu'une ligne triphasée de même capacité. Le coût effectif de la ligne, pour une capacité de 10 000 kilowatts, avec un câble utilisé, s'élève à environ 1 250 fr. par kilomètre ; ce chiffre comprend le prix des deux câbles posés en tuyaux de fonte et du câble de la ligne téléphonique, ainsi que le prix des connexions de mise à la terre à chaque extrémité. Le coût d'un simple câble armé pour triphasé de 5 000 kilowatts sous 20 000 volts, y compris la pose, est d'environ 2 350 fr. par kilomètre, soit un prix deux fois plus élevé, sans secours en cas de dérangement sur la ligne.

Dans beaucoup de cas, on trouve que le coût d'un réseau souterrain, système Thury, ne dépasse pas le coût d'un réseau aérien triphasé de même capacité.

SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE

On sait que le Congrès de la houille blanche tenu en 1902 s'était spécialement occupé des problèmes théoriques et pratiques posés par l'utilisation des forces hydrauliques et la construction des turbines. Dans la suite, les savants et les ingénieurs qui continuaient à s'occuper de la question avaient formé la Commission des turbines qui avait trouvé un appui auprès de la Chambre Syndicale des Forces hydrauliques, de l'électrometallurgie et de l'électrochimie et de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du département du Rhône. Pour les raisons que l'on verra ci-après, la Commission des turbines a reconnu qu'elle ne disposait pas des moyens nécessaires pour poursuivre la réalisation de son programme. Elle a confié ce soin à la *Société Hydrotechnique de France*, fondée en 1912, et dont nous avons décrit l'organisation en de précédents numéros.

Le Conseil d'administration de la Chambre Syndicale des Forces hydrauliques a décidé de faire paraître dans son bulletin mensuel les communications que lui ferait le Comité technique de la nouvelle Société ; il a jugé intéressant de commencer cette publication par le procès-verbal de la dernière réunion de la Commission des turbines et le compte rendu des travaux de cette dernière.